



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# **ILMAPITOISUUDEN VAIKUTUS JA HALLIN- TA KARTONGIN VALMISTUSPROSESSISSA**

Hanna Jorasmaa

Opinnäytetyö  
Tammikuu 2016  
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikka  
Paperitekniikka



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Paperi-, tekstiili- ja kemiantekniikan koulutusohjelma  
Paperitekniikan suuntautumisvaihtoehto

JORASMAA, HANNA:

Ilmapitoisuuden vaikutus ja hallinta kartongin valmistusprosessissa

Opinnäytetyö 38 sivua, joista liitteitä 1 sivu  
Tammikuu 2016

---

Ilma aiheuttaa monia ongelmia paperin- ja kartonginvalmistuksessa. Tässä opinnäytetyössä selvitettiin ilman vaikutusta prosessiin sekä ilmapitoisuuden ja katkojen välistä korrelaatiota Heinolan flutingtehtaalla. Lisäksi tehtiin koeajoja vaahdonestoaineella. Koeajojen avulla selvitettiin vaahdonestoaineen toimintaa ja ilmapitoisuuden vaikutuksia. Ilmapitoisuutta tutkittiin myös Wedge-ohjelman avulla ja selvitettiin, millaisia vaikutuksia ilmapitoisuudella on katkoihin ja mitkä ovat niitä tekijöitä, jotka lisäävät ilman määrää prosessissa. Prosessissa todella monet asiat vaikuttavat toisiinsa, mikä aiheutti tutkimukseen ongelmallisuutta. Pelkän ilman ja vaahdoneston vaikutuksia oli vaikea päätellä. Lisäksi tutkimuksen aikana oli useita prosessihäiriöitä, jotka häiritsivät tulosten tulkintaa.

Vaahdonestoaineen ja ilmapitoisuuden välille ei saatu isoa korrelaatiota. Sen takia ilmapitoisuuden vaikutusta kartongin laatuun oli vaikea selvittää. Pystyttiin kuitenkin havaitsemaan, että nopeat muutokset ilmapitoisuudessa aiheuttivat katkoja pienellä viiveellä. Lisäksi huomattiin, että ilmapitoisuus lisääntyy erityisesti lämpötilan nousun, säiliöiden pintojen laskun ja johtokyvyn myötä.

Ilmapitoisuuden vaikutuksia on vaikea saada selville näin pienellä otannalla. Tämän takia olisi hyvä testata vaihtoehtoisen vaahdonestoaineen vaikutuksia ja selvittää, onko nykyinen vaahdonesto riittävän tehokas nykyisellä lämpötila-alueella.

## ABSTRACT

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Tampere University of Applied Sciences  
Degree Programme in Paper Technology

JORASMAA HANNA:

The Impact and Controlling of Air Content in Board Making Process

Bachelor's thesis 38 pages, appendices 1 page  
January 2016

---

The aim of this study was to investigate how the air content of the pulp at Heinola fluting mill affects board making process and the quality of board produced. Air flows into board making process at different stages and as a result there are many problems associated with it. This study investigates how air content affects the operability of the board machine and the reasons behind these variations in air content. A Defoaming agent was tested in the process by driving it through the board machine. The impacts of the defoaming agent were studied using a Savcor Wedge program. The effect of the air content on the properties of the board quality was also researched.

The results were that the air content in the board making process rises to high temperature in the process, conductivity and the level in tanks and chests. It was also found out that the changes in the air content affect runnability problems like breaks. The effect of air content in board quality was not clear, because the defoaming agent did not have a significant effect on the air content.

In this short period of time it is not possible to get results that are reliable enough. This is why it would be important to study if this defoaming agent is effective in these relatively high temperatures. It would also be good to test some other defoaming agents and compare it with the defoaming agent that was used in this study.

---

Key words: air content, fluting

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	6
2	VAAHTO .....	7
2.1	Esiintyminen .....	7
2.2	Syyt .....	10
2.3	Seuraukset.....	12
2.3.1	Keitto.....	12
2.3.2	Häiriöt pumpuissa, sihteissä ja pyörrepuhdistimella.....	12
2.3.3	Likaantuminen.....	13
2.3.4	Vedenpoisto .....	14
2.3.5	Sakeusvaihtelut ja mittausten häiriintyminen .....	14
2.3.6	Retentio .....	15
2.3.7	Formaatio .....	15
2.3.8	Paperin laatu ja katkot.....	16
2.4	Estäminen.....	16
2.5	Poistaminen.....	18
2.5.1	Viirakaivo.....	18
2.5.2	Pumput .....	19
2.5.3	Ilmanpoistosäiliö .....	20
2.5.4	Pomp ilmanpoistin .....	21
3	PROSESSIKUVAUS .....	23
3.1	Massatehdas .....	23
3.2	Lyhyt ja pitkä kierto.....	26
3.3	Kartonkikone .....	26
4	KOEAJOT .....	28
4.1	Taustaa .....	28
4.1	Ilmapitoisuuden vaikutusten tutkiminen.....	29
5	TULOKSET .....	30
5.1	Askelvastekoe 1 .....	30
5.2	Askelvastekoe 2 .....	32
5.3	Ilmapitoisuuden vaikutukset .....	33
5.4	Katkot.....	34
6	POHDINTA.....	35
	LÄHTEET.....	37
	LIITTEET .....	38
	Liite 1. Toisen koeajon tuloksia .....	38

**ERITYISSANASTO**

fluting	aallotuskartonki, aaltopahvin keskikerros
flokki	kuitujen kasauma, kuitukimppu
formaatio	paperin/kartongin pienimittakaavainen neliömassavaihtelu
huokoisuus	paperin/kartongin laatuominaisuus, joka mitataan ilmanläpäisevyydellä
hydrofobinen	vettä hylkivä
ligniini	puun sidosaine, joka sitoo kuidut toisiinsa
raina	viiralle suotautumalla muodostuva paperirata
retentio	perälaatikosta viiraosalle jäävän aineen määrä
sulppu	paperin raaka-aineiden muodostama vesiliete kuidutuksen ja rainauksen välillä

## 1 JOHDANTO

Ilmapitoisuudella on useita vaikutuksia kartongin valmistuksessa. Tämän työn tarkoituksena on selvittää teoriaa ilmapitoisuudesta ja Heinolan flutingtehtaan prosessista. Kokeellisessa osassa selvitetään, millaisia vaikutuksia ilmapitoisuudella on katkojen määrään ja tiettyihin kartongin laatuominaisuuksiin. Vaahdonestoaineen koeajoilla selvitetään muutoksia ilmapitoisuudessa, laatuominaisuuksissa ja ilman määrässä.

Teoriaosuudessa käsitellään ilman esiintymismuotoja, syitä ja seurauksia. Lisäksi selvitetään, miten vaahdon syntymistä voidaan ehkäistä sekä tutustutaan keinoihin poistaa ilma ja kaasut prosessista mekaanisesti. Teoriaosassa selvitetään myös Heinolan flutingtehtaan prosessia keskittyen perälaatikon lähelle ja niihin vaiheisiin prosessia, jotka ovat tämän työn kannalta oleellisia.

Käytännön osuudessa on tavoitteena selvittää koeajojen avulla vaahdonestoaineen toimintaa ja vaikutuksia prosessissa. Lisäksi tarkoituksena on pohtia syitä korkealle ilmapitoisuudelle ja ilmapitoisuuden vaikutuksia katkoihin.

## 2 VAAHTO

### 2.1 Esiintyminen

Ilmaa esiintyy eri muodoissa paperitehtaan prosesseissa. Mekaanisista syistä prosessiin johtunutta ilmaa, joka esiintyy kuplmaisessa muodossa, kutsutaan vapaaksi ilmaksi. Sitoutunut ilma on kiinnittynyt eli adsorptoitunut kuidun pinnalle. Kaasumolekyyleinä nestesuspensioon liuenntua ilmaa kutsutaan liuenneeksi ilmaksi. Vaahtoa voi olla staabiilina eli lamellivaahtona ja ei-stabiilina, jolloin se on kermavaahtomaista. (Skaffari 2015)

Ilman esiintymismuotojen osuudet ovat riippuvaisia massan lämpötilasta, pH:sta ja laadusta. Paine- ja virtausvaihteluiden johdosta ilman olomuoto ja määrä prosessin eri vaiheissa vaihtelee jatkuvasti. Korkeammissa lämpötiloissa kuplmaista ilmaa on enemmän ja liuenntua vähemmän ja päinvastoin. Prosessin osasta riippuen kaasujen osuus vesistä tai kuitususpensiosta on konekohtaista ja se on tyypillisesti 5 - 20 %. Perälaatikoissa toivottava ilmapitoisuuden määrä on selvästi alle 1 %. (Knowpap)

Sulpussa oleva vapaa ilma esiintyy joko kuplien tai vaahdon muodossa. Vapaata ilmaa on sulpussa 0,5-5 til-% ja suuri osa siitä poistuu putkien ja säiliöiden painevaihteluiden johdosta. Tämä tulee huomioida suunnittelussa. Osa vapaasta ilmasta on kuitenkin staabiilia vaahtoa, jonka poistaminen spontaanisti ei onnistu. Sen syntymistä voidaan estää esimerkiksi vaahdonestosuihkuilla säiliöissä ja sen hajottamiseen tarvitaan kemiallisia vaahdonestoaineita. Esimerkiksi pumppauksessa saattaa käydä niin, että vapaa ilma kehittyy mekaanisesti sitoutuneeksi ilmaksi. (Knowpap)

Kuplmaista ilmaa on myös sitoutunut ilma eli jäännösilma, jossa kuplat ovat alle 0,1 mm halkaisijaltaan. Massasulppuun liukenee kolloidisia häiriöaineita. Nämä aineet kiinnittyvät kupliin ja kuplat puolestaan kiinnittyvät kuituihin. Kun massa seisoo avoimessa astiassa, ilmakuplat eivät pääse poistumaan massasta. Sitoutunut ilma voi siis kiinnittyä kuituihin, mennä kuitujen sisälle ja kiinnittyä tiukkaan kuitujen kostumattomille puolille. Täten se voi pitää kuituja yhdessä ja muodostaa flokkeja massaan, jolloin aiheutuu ongelmia formaatiossa. Jo pieni ilmamäärä vaikuttaa kuitujen ominaisuuksiin,

joten sulppuun sitoutunut ilma on tärkeää saada poistettua massasta. Kuidun ominaispaine pienenee 30 %, kun massassa on 0,2 til-% ilmaa. (Knowpap, Savcor 2003, 1)

Ilmaa esiintyy massasulpuissa myös liuenneina kaasuina. Liuenneet kaasut ovat ilman osakaasuja, jotka ovat siirtyneet ilmakuplien seinämien läpi veteen. Kaasujen liukoisuus nesteeseen riippuu lämpötilasta, pH:sta, paineesta ja sulpuissa olevista pinta-aktiivisista kemikaaleista. Ylikylläisessä pitoisuudessa oleva liuennut kaasu voi helposti muuttua takaisin sitoutuneeksi tai vapaaksi ilmaksi, jos muutetaan painetta, lämpötilaa ja/tai kemiallista ympäristöä. Jos liuennut kaasu vapautuu kaasumaiseen muotoon, se voi pysyä kuplamaisena suhteellisen pitkään, vaikka kaasun liukenemiseen riittävä ympäristön paine olisi jo saavutettu. Kaasujen vapautuminen on nopeampaa kuin liukeneminen. (Savcor 2003, 1-2)

Liuenneita kaasuja on usein kuplamaista määrää enemmän. Sulppuun liuennut ilma ei itsessään haittaa veden poistumista viiralta tai formaatiota, mutta se voi lisätä esimerkiksi valkaisukemikaalien kulutusta. Liuennut ilma myös muuttuu helposti lämpötilan muutoksen tai paineen laskun seurauksena kuplamaiseksi sitoutuneeksi ilmaksi, joten se pyritään poistamaan. Myös paineen muutokset ja turbulenssi, joita aiheutuu sekoituksen ja pumppauksen yhteydessä ja viiraränneissä, lisäävät liuenneen ilman vapautumista. Kylläinen liuennut ilma vapautuu kupliksi turbulenssin ja paine-eron johdosta myös perälaatikon jälkeen. (Knowpap, Savcor 2003, 2)

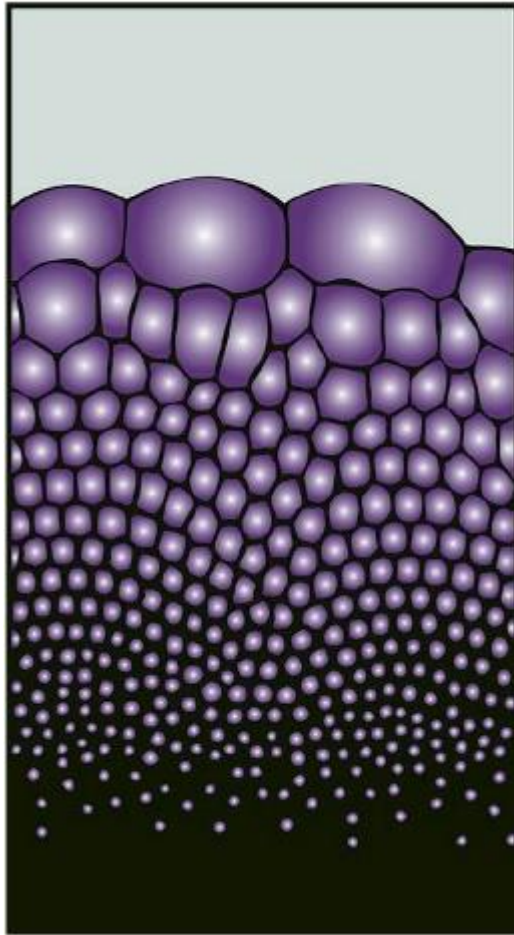
Kun nesteen paine nousee, kaasujen liukeneminen lisääntyy ja kuplien määrä ja koko pienenee. Lämpötilan noustessa kaasujen liukoisuus puolestaan laskee ja tällöin liuennut kaasu pääsee vapautumaan kupliksi. Liukenemista voi nopeuttaa pienentämällä nesteen pintajännitystä esimerkiksi vaahdonestoaineen avulla. (Savcor 2003, 2)

Kaasujen liukoisuus nesteeseen riippuu kaasun koostumuksesta, lämpötilasta, liuoksen kemikaaleista ja paineesta. Kaasut, jotka liukenevat veteen, ovat liuoksessa molekyyleinä. Jos kiinteillä aineilla on suuri liukoisuus veteen, ilman liukeneminen hankaloituu ja ilma adsorboituu kiinteän aineen pinnoille. (Knowpap)

Ilmakuplien rikkoontuminen muodostaa vaahtoa. Vaahdossa on monia hydrofobisia ominaisuuksia, mikä johtaa usein siihen, että lika rikastuu ja kelluu vaahdon mukana. Täten vaahto aiheuttaa likaisia läikkiä massaan ja lopputuotteeseen. Ne voidaan ehkäistä



poistamalla vaahto tai estämällä sen muodostuminen. (Alén 2007, 112) Pintavaahdon muodostuminen ja eri kuplakoot näkyvät kuvassa 1.



KUVA 1. Pintavaahto (Thorn, Au 2009)

Vesi ei vaahtoa, jos se on puhdasta. Jotta vaahtokupla voi muodostua, tarvitaan pinta-aktiivinen aine, jonka avulla muodostuu adsorptoitunut pintafilmi kaasuneste pinnalle. Pintafilmin johdosta nesteen pintajännitys muuttuu. Kun kaasua joutuu nesteeseen, alkaa muodostua kuplia, jotka nousevat pintaan. (Skaffari 2015)

Pinta-aktiivisia aineita paperin valmistusprosessissa ovat rasva- ja hartsihapot, ligniiniyhdisteet ja kuivalujaliimat. Myös dispergointiaineet ja liennut tärkki ovat pinta-aktiivisia. Tärkin huono retentio ja liiman huono retentio hydrofobi- ja märkälujaliimoilla aiheuttavat myös vaahtoa. Lisäksi pinta-aktiivisia aineita ovat valkaisukemikaalijäämät, karbonaatti happamissa olosuhteissa ja huonosti pesty DIP eli niin sanottu toisiotärkki. Liennut ilma ja vaahto voivat stabiloitua myös hienoaineen johdosta. (Alén 2007, 112; Skaffari 2015)

Vaikka paperikoneen lyhyessä kierrossa olevaa kaasua kutsutaan ilmaksi, se voi poiketa huomattavasti ilmakehässä esiintyvistä ilmasta. Lyhyessä kierrossa olevassa ilmassa voi esiintyä paljon korkeampia pitoisuuksia tiettyjä osakaasuja kuten happea ja hiilidioksidia. (Savcor 2003, 2)

## 2.2 Syyt

Kaasut tulevat sellun- ja paperinvalmistukseen joko sellaisissa prosessin kohdissa, joissa kaasu kohtaa massasulpuun tai se on jo valmiiksi liuenneena raaka-aineisiin. Nykyään suurin osa yksikköprosesseista on paineistettuja, mutta siitä huolimatta kaasuja pääsee sulppuun monista eri paikoista. Tyypillisimmin ilma tulee prosessiin niistä prosessin osista, joita ei ole paineistettu. Esimerkkejä tällaisista osista ovat säiliöt, pulpperit, massatornit ja viiravesisäiliö, joissa ilma pääsee sekoittumaan sulppuun tai kulkeutuu höyryn mukana virtausten roiskeissa. (Stoor 2006, 15.)

Viiraosalla on erilaisia vedenpoistimia, jotka poistavat rainasta vettä. Tavoitteena on poistaa vesi mahdollisimman nopeasti, jolloin sitä roiskuu, suihkuaa, putoaa ja se johdetaan viiraränneihin ohjauslevyjen avulla. Kun nollavesi johdetaan viirakaivoon, ilma pääsee sekoittumaan hyvin veden joukkoon. Viirarännissä on tavallisesti noin 2 - 4 til-% ilmaa veden joukossa, ilmapitoisuudella on kuitenkin merkittäviä eroja eri paperikoneiden välillä. Ilmapitoisuuteen vaikuttavat kuiva-aineen määrä ja laatu, nollaveden lämpötila ja viiraosan rakenne ja tyyppi. (Knowpap)

Lyhyessä kierrossa ilmaa voi tulla järjestelmään myös pyörrepuhdistuslaitokselta, jos se on paineistamaton ja puhdistusyksikön rejektisuuttimista puretaan rejektivirta vapaasti ilmatilaan. Jos pyörrepuhdistuslaitos toimii alipaineessa, voi prosessiin päästä ilmaa myös vuotavien liitoksien kautta. Myös ilman olomuoto voi hieman muuttua pyörrepuhdistuslaitoksella, kun leikkausvoimat hajottavat kuplia pienemmiksi. Tällöin kasvavat kuplien kokonaispinta-ala ja liuenneen ilman osuus liukenemisen nopeuduttua. (Savcor 2003, 4)

Ilmaa voi tulla järjestelmään täyteaineiden syöttölinjalta ja kemikaalien syötöistä. Kuplat stabiloituvat, kun järjestelmään syötetään pinta-aktiivisia kemikaaleja ja epäpuhtauksia. Tällöin kuplamaisen ilman määrä prosessissa kasvaa. Täyteaineen käyttöä saattaa

myös rajoittaa vaikeus hallita ilmapitoisuutta, koska täyteainepartikkelit sitovat kuplia toisiinsa ja kuljettavat niitä järjestelmässä. (Savcor 2003, 6)

Sakean massan sekaan pääsee sekoittumaan kaasuja massankäsittelyn yhteydessä. Sakea massa syötetään viirakaivon alaosaan. Ilmaa voi sekoittua myös säiliössä, jossa on säiliösekoitin, joka pyörii säiliön pinnan lähellä tai pinnan yläpuolella. Myös pinnan yläpuolelta massaa tai vettä poistavat yhteet sekä eräät ylivirtausrakenteet voivat tuottaa ilmaa prosessiin tehokkaasti. Sakeassa massassa on tyypillisesti 2,5 - 4 % ilmaa, josta kuplamaista ilmaa on 1 - 2 % ja liuenneita kaasuja 1 - 2 %. Kuitenkin paperikoneen lähestymisjärjestelmän kokonaisvirtauksesta suhteellisen pieni osuus on sakeaa massaa, joten vain noin 15 - 20 % kokonaisilmamäärästä tulee sakean massan seassa lähestymisjärjestelmään. (Knowpap)

Massatornissa ilmaa pääsee sekoittumaan massaan liian ylhäällä olevien sekoittimien lisäksi silloin, kun tornin pinta on liian alhaalla, koska silloin putken imuaukkoon syntyy ilmapyörre imun johdosta. Torniin tuleva sulppu saatetaan myös pudottaa liian korkealta, jolloin sen mukana tulee ilmaa torniin. (Knowpap)

Huonosti suunnitelluista tiivisteistä voi myös vuotaa ilmaa sulpun sekaan. Prosessiin voi tulla myös merkittäviä määriä liuennutta ilmaa kylmän raakaveden mukana, joka voi happamissa olosuhteissa muodostaa hiilidioksidia, etenkin jos vedessä on runsaasti karbonaatteja. Hiilidioksidiongelmiin pääsy on kuitenkin yleensä kalsiumkarbonaatin käyttö täyteaineena yhdistettynä siihen, että paperin valmistusprosesseissa pyritään nykyään kohti neutraalia prosessia. Alkalisissa prosesseissa kalsiumkarbonaatti pysyy muuttumattomana, mutta se alkaa hajota kun pH on alle 8. (Stoor 2006, 16.)

Karbonaatti hajoaa hiilidioksidiksi häiritsevän voimakkaasti, jos pH laskee neutraalitalason alapuolelle. Karbonaatti kiertää prosessissa takaisin hylyn mukana ja jos se hajoaa hiilidioksidiksi, massan kaasupitoisuus kasvaa. Massan pH muuttuu kaasumäärän vaihteluiden mukana koneella, jossa käytetään karbonaattia. Tämä on seurausta siitä, että kaasun määrän kasvu johtaa veteen liukenevan hiilidioksidin määrän kasvuun, jolloin pH laskee. (Savcor 2003, 6)

Koska tehtailla pyritään nykyään sulkemaan vesikierron, mikro-organismien määrä voi päästä kasvamaan. Vesikiertoon liuenneen hapen määrä vaikuttaa siihen, paljonko aero-

bisia ja anaerobisia bakteereita on suhteessa toisiinsa. Jos liuennutta happea on runsaasti, nesteessä on enemmän aerobisia mikrobeja ja nämä tuottavat aineenvaihdunnan tuotteena hiilidioksidia. Toisaalta vesikierron ollessa suljettu, on nesteessä enemmän anaerobisia mikrobeja ja ne voivat tuottaa vetysulfiittia tai vetykaasua. Kalsiumkarbonaatista voi muodostua hiilidioksidia myös alueellisilla happamilla paikoilla, jotka pääsevät muodostumaan kaasujen mikrobiologisen tuotannon seurauksena. (Stoor 2006, 16.)

## **2.3 Seuraukset**

Sulpun mukana on aina luontaisesti ilmaa 0,25-8 til-%. Ilma vaikuttaa pieninäkin määrinä haitallisesti paperin valmistukseen, joten se pyritään poistamaan ennen paperikoneen viiraosaa mahdollisimman huolellisesti. Ilma heikentää paperikoneen ajettavuutta ja paperin laatua monilla tavoilla. Selvimmin ongelmat näkyvät vedenpoistossa viiraosalla, rainan muodostuksessa, formaatiossa ja tietyissä paperin laatuominaisuuksissa. (Savcor 2003, 9; Knowpap)

### **2.3.1 Keitto**

Jauhatuksen ja haketuksen seurauksena puun kapillaareihin ja kuitujen sisälle on jäänyt tuntuva määrä ilmaa. Jäännösilman johdosta kemikaalien tunkeutuminen kuituihin on epätasaista, jolloin keittoliuoksen reaktioaika hakelastujen sisällä vaihtelee. Lisäksi hakelastujen tiheys alenee ja lastut liikkuvat keittimen sisällä epätasaisesti. Ilman johdosta ligniinin erotustehokkuus ja massan tasalaatuisuus pääsevät heikkenemään. (Knowpap; Stoor 2006, 29)

### **2.3.2 Häiriöt pumpuissa, sihdeissä ja pyörrepuhdistimella**

Ilmapitoisuus aiheuttaa ongelmia myös pumpuissa, sihdeissä ja pyörrepuhdistimella sotkemalla yksikköprosesseja. Sihdin toimintaan ilmapitoisuus ei normaaliolosuhteissa vaikuta, mutta jos syöttöpaine on matala tai akseptivirtaus pieni, sihdin tehokkuus laskee huomattavasti, kun kuplat tukkivat sihdin aukkoja. Pyörrepuhdistimella ilmakuplat

kulkevat kevyenä komponenttina akseptissa, jolloin puhdistimen tehokkuus heikentyy. (Savcor 2003, 12)

Pumpuille on haittaa massan ilmasta, sillä jo melko pienillä ilmapitoisuuksilla häviää pumppausenergiaa. Pumpun pesään on myös mahdollista muodostua ilmasydän, joka johtaa pumpun tehokkuuden romahtamiseen. Ilman aiheuttama pumpun tehokkuuden lasku saattaa tulla prosessin pullonkaulaksi. Lisäksi korkeasta ilmapitoisuudesta voi seurata pumppujen kavitoitiriskin lisääntyminen. (Savcor 2003, 14; Knowpap)

### **2.3.3 Likaantuminen**

Ilma sekoittuu veteen kupliksi ja kuplat nousevat pintaan, jolloin paperikoneen lyhyeen kiertoon muodostuu vaahtoa. Kiertoveteen dispergoituneet aineet tarttuvat kupliin ja nousevat pintaan vaahton mukana, josta seuraa saostumista. Kuplan pintaan tarttuu myös kolloidisia ja suurempia partikkeleita. Partikkelit ja polymeerit tarttuvat ilmakuplan pintaan sitä paremmin, mitä hydrofobisempia ne ovat. (Savcor 2003, 14)

Pihka, pigmentit ja lika, jotka ovat tarttuneet kuplien pinnoille, nousevat vaahton mukana säiliöiden pinnalle ja siellä ne rikastuvat ja likaavat säiliötä vaahton hajotessa. Kun ne lähtevät säiliöstä liikkeelle, ne kulkeutuvat huopaa ja viiraa likaamaan ja pilaamaan paperirainaa. Kuplien pinnoissa oleva lika myös kerääntyy prosessiputkien seisoviin kohtiin eli likaloukkuihin. Paine tai virtaus saa kertyneen lian liikkeelle ja siitä seuraa prosessihäiriöitä ja paperin laadun heikkenemistä. (Savcor 2003, 14)

Oikein pahat ilmaongelmat paperikoneella voivat aiheuttaa tulvimista prosessilaitteissa ja säiliöissä. Tulvimisen seurauksena vaahton seassa prosessista poistuu hienoaainetta ja kemikaaleja ja prosessilaitteet likaantuvat. (Savcor 2003, 15)

Kuplat aiheuttavat myös tahmoja, koska ne paineen noustessa painuvat kasaan eli pienenevät, jolloin niiden pinnan epäpuhtauskalvo paksune. Tätä mekanismia kutsutaan kuplien lysähtämiseksi. Tahmoja analysoitaessa niistä löytyy lähes aina vaahtonestokemikaalia, joten sen liiallista annostelua tulee välttää. Vaahtonestokemikaalin äkillisestä lisäyksestä saattaa myös seurata prosessissa olevien saostumien tai likakertymien vapautumista. (Savcor 2003, 15)

Liman muodostus kasvaa, kun aerobisten mikro-organismien kasvua pitää yllä ilma ja erityisesti massaan liuennut happi. Säiliöihin ja putkistoon muodostuu limaa, minkä johdosta pesutarve ja pesukemikaalien käyttö lisääntyy. Kun ilmapitoisuus on matala, on aerobista mikrobitoimintaa vähemmän ja sen eliminoimiseen tarvittavien kemikaalien tarve vähenee. (Savcor 2003, 15)

#### **2.3.4 Vedenpoisto**

Veden poisto viiraosalla hidastuu korkean ilmapitoisuuden johdosta. Jopa 20-25 % väheneminen suotautumisessa on mahdollista, kun ilmapitoisuus lisää virtausvastusta. Käyttökustannukset nousevat, kun alentunut puristusosan vedenpoisto johtaa höyryn kulutuksen kasvuun kuivatusosalla. (Knowpap)

Viiran aukot tukkeutuvat ilman johdosta ja veden virtaus estyy. Keskimääräinen ilman kuplakoko on 100 µm ja viiran aukon koko noin 200 µm. Kun vedenpoisto viiraosalla heikkenee, pienenee jättösakeus viiralta ja puristinosan katkoherkkyys kasvaa. Myös rainanmuodostusosan imut ja tyhjiöt kärsivät ilmasta, koska kuplamainen ilma tukkii kapillaareja. (Savcor 2003, 9, Skaffari 2015)

#### **2.3.5 Sakeusvaihtelut ja mittausten häiriintyminen**

Kuplamainen ilma aiheuttaa sakeusvaihteluita, koska se vie massassa tietyn tilavuusosuuden. Jos sakeus vaihtelee hallitsemattomasti, se saattaa johtaa vaihteluihin myös neliömassassa. Korkeilla ilmapitoisuuksilla ilmapitoisuus alkaa myös häiritä optisia sakeusmittauksia, kun kuplien keskikoko on normaalia suurempi. Kun sakeusmittaus antaa vääriä tuloksia, sakeussäätö seuraa siitä ja sakeuden hallinnasta tulee mahdotonta. (Savcor 2003, 10)

Ylimääräinen ilma häiritsee pinnankorkeuden mittausta säiliöissä, koska veden tiheys alenee ilman johdosta. Muutokset kuplamaisessa ilmassa johtavat tiheyden muutoksiin massassa ja nollavedessä ja häiritsevät sakeuden ja pinnankorkeuden lisäksi useita prosessimittauksia. (Knowpap, Skaffari 2015)

### 2.3.6 Retentio

Ilmalla on monia vaikutuksia retentioon. Kunnollisen kuituverkon muodostuminen viiralle häiriintyy, kun ilma pienentää kuitusidosten määrää. Tämän lisäksi suuri kuplien pinta-ala vie retentioaineen tehon sitomalla retentioainetta kuplien pintaan. Jos optinen sakeusmittaus häiriintyy ilmakuplista, se saattaa luulla, että viiraveden ilmakuplat ovat täyteainepartikkeleita, jolloin retentioaineen määrää lisätään virheellisesti. (Savcor 2003, 11)

Retention hallinta on vaikeaa, jos ilmapitoisuus ei ole hyvin hallinnassa ja päinvastoin. Kun retentio on huono, kasvaa häiriöaineiden määrä lyhyessä kierrossa ja täten massan ilmapitoisuus pääsee kasvamaan. Kun ilmapitoisuus nousee, häiriöaineiden (esimerkiksi vaahdonestokemikaali) määrä kasvaa retention heikkenemisen seurauksena. Joissain tapauksissa on saatu retentioaineen kulutusta huomattavasti pienemmäksi, kun hyvä ilmanpoisto on poistanut ilmakuplien aiheuttamat häiriöt. (Savcor 2003, 11)

### 2.3.7 Formaatio

Kuitusidosten määrä pienenee, kun ilmakuplien johdosta kuidut eivät voi kiinnittyä toisiinsa. Toisaalta kun kuidut tarttuvat kuplien pintaan niiden pinta-aktiivisuuden vuoksi, aiheutuu kuitujen flokkautumista. Korkea ilmapitoisuus voimistaa prosessissa ilmeneviä painepulsseja, jolloin on havaittu neliömassavaihteluiden lisääntyvän konesuunnassa 1 – 10 Hz. Poikkisuuntaiset neliömassavaihtelut lisääntyvät, kun ilma kanavoituu perälaatikon lähestymisputkistossa. (Savcor 2003, 12)

Alhainen perälaatikkosakeus auttaa hyvän formaation saavuttamisessa. Kuitenkin ilmapitoisuuden ollessa suuri, joudutaan nostamaan perälaatikon sakeutta, jotta saavutetaan riittävä vedenpoisto. (Savcor 2003, 12)

Vaakasuorissa putkissa kuplat nousevat putken yläosaan, kun virtausnopeus laskee ja turbulenttisuus vähenee. Tällöin voi syntyä ilmataskuja putkistoon ja niiden seurauksena syntyy likaa, pulsaatiota ja lian aiheuttamia kasaantumia. Jos ilma kanavoituu perälaatikon lähestymisputkistossa, siitä voi seurata poikkisuuntaista neliömassavaihtelua viiraosalla. (Savcor 2003, 11)

### 2.3.8 Paperin laatu ja katkot

Kuplat lisäävät paperin epähomogeenisuutta syrjäyttämällä massaa tilavuutensa verran ja tästä aiheutuu huokoisuuden ja karheuden kasvua, neulanreikien muodostumista sekä sileyden ja kiillon heikentymistä. Lähinnä formaation kautta massassa oleva ilma heikentää paperin lujuusominaisuuksia. Jos formaatio on hyvä, paperi on homogeenista ja siinä on vähemmän heikkoja kohtia kuin huonolla formaatiolla. (Knowpap, Savcor 2003, 12)

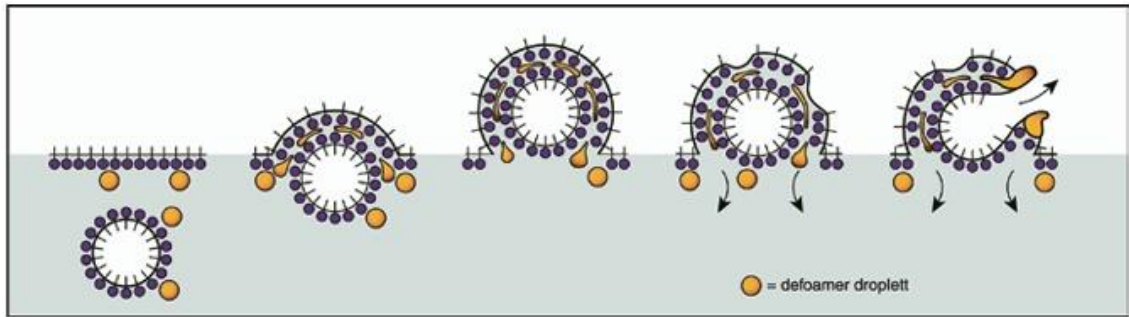
Kun ilmamäärä kasvaa, ilmakuplat voivat aiheuttaa reikiä paperiradassa. Tämän johdosta paperin formaatio ja vetolujuus pääsevät heikkenemään ja riski ratakatkoihin kasvaa. Ilma kerää vaahtoutuessaan kuplien pintaan kuituja ja epäpuhtauksia, joista muodostuu saostumisen seurauksena likapartikkeleita ja kuituflokkeja. Nämä aiheuttavat likaantumista laitteiden pinnoilla ja voivat kulkeutua viiralle. Viiraosalla ne aiheuttavat täpliä ja reikiä ja niiden seurauksena paperirata voi tarttua teloihin ja kuivaussylintereihin. Näiden johdosta pääsee usein syntymään katkoja paperirataan. (Knowpap)

Korkea ilmapitoisuus ja etenkin äkilliset ilmapitoisuuden nousut voivat häiritä paperikoneen normaalia toimintaa. Ne voivat lisätä katkojen määrää koneella ja rajoittaa koneen ajonopeutta. Perälaatikon vaihteleva ilmapitoisuus aiheuttaa haasteita rainanmuodostuksessa ja ajettavuus kärsii. (Savcor 2003, 12, Skaffari 2015)

## 2.4 Estäminen

Vaahdoneston tarkoituksena on poistaa ilma tai kaasu ennen kun se ehtii aiheuttamaan prosessiin ongelmia. Tämän takia vaahdonestoaineen annostelulle etsitään ilmanpoiston kannalta paras paikka prosessissa. Eri vaahdonestoaineita ovat ilmanpoistajat eli vesipohjaiset vaahdonestoaineet, syrjäyttävät vaahdonestoaineet, jotka ovat öljypohjaisia tai silikoniemulsioita sekä pintajännitykseen vaikuttavat vaahdonestoaineet, jotka ovat estereitä tai konsentraatteja. (Skaffari 2015) Vaahdonestoaineen toimintaperiaate näkyy kuvassa 2.





KUVA 2. Vaahdonestoaineen toimintaperiaate (Thorn, Au 2009)

Hyvä paikka vaahdonestoaineen annostelulle on viiraränni, koska siellä ilma pääsee nesteestä pois, kun se on paineeton ja avoin tila. Viirarännissä on myös hyvä sekoitus ja siellä annosteltu vaahdonestoaine ehtii estämään ilman sekoittumisen viiraveden sekaan. Toinen avoin ja paineeton paikka vaahdonestoaineen annostelulle on viirakaivo. Kolmas hyvä paikka annostella vaahdonestoaainetta on pyörrepuhdistuksen ensimmäisen portaan syöttö, jossa aine parantaa ilmanpoistolaitteiston toimintaa ja voidaan estää ilman pääsy perälaatikolle. Vaahdonestoaainetta voi myös lisätä matalasakeuksisiin massoihin tai laimennuslinjoihin, jolloin vaahdonestoaine saadaan sekoittumaan paremmin kuin sakeaan massaan ja täten ilmanpoistosta saadaan nopeampaa ja tehokkaampaa. (Skaffari 2015)

Vaahdonestoaineilla on niille ominainen kyky ilman poistamiseen ja sen jälkeen aineen lisääminen on turhaa, koska lisäännoksesta ei ole hyötyä ilmanpoistossa. Optimaalinen annos on mahdollisimman pieni, mutta riittävän iso, että mekaanisen ilmanpoistosäiliön toiminta on tehokasta. Mekaaninen ilmanpoisto kykenee poistamaan tietyllä kapasiteetilla ilmaa. Vaahdonestoaineiden avulla säädetään ilmapitoisuus sopivaksi ennen mekaanista ilmanpoistoa, jotta mekaanisen ilmanpoistosäiliön toiminta olisi optimaalista. (Savcor 2003, 8)

Vesipohjaiset vaahdonestoaineet eli ilmanpoistajat (deaerator) ovat hydrofobisia partikkeleita, jotka katkaisevat vaahtokalvon. Tällöin kuplat yhdistyvät, jolloin kuplakoko kasvaa ja suuremmat kuplat nousevat pintaan ja hajoavat. Vesipohjaisten vaahdonestoaineiden avulla poistetaan liuennutta kuplламаista ilmaa lyhyestä kierrosta. Ilmanpoistajien avulla voidaan tappaa pintavaahtoa viira-altaissa ja säiliöissä. (Skaffari 2015)

Öljypohjaiset vaahdonestoaineet ja silikoniemulsiot ovat syrjäyttäviä (defoamer) vaahdonestoaineita, joiden toiminta perustuu siihen, että ne syrjäyttävät pinnalla olevan

vaahdonmuodostajan, mutta eivät sekoitu siihen. Koska lujaa pinta-filmiä ei pääse muodostumaan, vaahto murtuu. (Skaffari 2015)

Pintajännitykseen vaikuttavat vaahdonestoaineet (defoamer) ovat estereitä tai konsentratteja. Niiden tehtävänä on muuttaa nesteen pintajännitystä ja tehdä vaahtoa stabiiloivien partikkeleiden toiminnasta hankalaa. Vaahtoavat ja vaahtoamattomat tensidit eli pinta-aktiiviset aineet kilpailevat systeemissä keskenään. (Skaffari 2015)

Vaahdonestokemikaalit vapauttavat ylenmääräisiä liukenemattomia ilmakuplia ja siten nollavesisäiliön tai viirakaivon tehokkuus kasvaa. Kemikaali alentaa nesteen pintajännitystä, minkä seurauksena muutosherkkyys liunneen ja liukenemattoman ilman tasapainossa kasvaa. Täten kemikaali suojaa prosessia myös vaahdon muodostumiselta. (Knowpap)

Vaahdonestokemikaaleista voi olla myös haittaa paperinvalmistusprosessissa. Väärä annostus voi johtaa saostumiin, koska vaahdonestoaineet ovat niukkaliukoisia. Vaahdonestoaineet voivat muodostaa sakkoja reagoituaan muiden aineiden kanssa. Ne voivat myös liuottaa pihkaa, jolloin voi syntyä aiempaa tahmaavampia sakkoja. Liian suuri annostus vaahdonestoainetta voi johtaa retention huononemiseen ja retentioaineen kulutuksen kasvuun. Lisäksi siitä voi aiheutua märkäviirroilla ja puristinhuovilla saostumanmuodostusta. (Knowpap)

## **2.5 Poistaminen**

Kuplamaisen ilman ja kaasujen poistaminen on mahdollista viirakaivon pinnalla ja ilmanpoistimessa. Lisäksi pyörrepuhdistimessa kevyen rejektin mukana poistuu kuplaimaista ilmaa ja täten kaasujen poistuminen onnistuu myös siellä. Lisäksi on olemassa ilmaa poistavia pumppuja. (Knowpap)

### **2.5.1 Viirakaivo**

Yksi viirakaivon päätehtävistä on poistaa ilmaa sinne tulevasta nollavedestä. Viirakaivon vedenpoisto perustuu siihen, että nousevien ilmakuplien nopeus on nollaveden

laskeutumisnopeutta suurempi. Täten viirakaivon perinteinen mitoituskriteeri on ollut se, että nollavesi laskeutuu viirakaivossa nopeudella 0,1 – 0,15 m/s. Sopivissa olosuhteissa kuplat nousevat nosteen avulla viirakaivon pinnalle. Mikäli viirakaivossa on liian suuri nopeus, ilma ei ehdi nousta pintaan vaan se menee virtauksen mukana alas. Liian hidas nopeus viirakaivossa voi puolestaan aiheuttaa säiliössä liman ja/tai lian kasvua. Myös ilmakuplien koolla on merkitystä, niillä pitäisi olla riittävästi aikaa kasvaa suuremmiksi, jotta niiden poistuminen olisi tehokasta. (Knowpap)

Kaasukuplat eivät usein pääse nousemaan tasaisesti, koska viirakaivon virtaus on voimakkaasti sekoittavaa. Tämän takia viirakaivossa ilmanpoisto ei ole erityisen tehokasta ja siellä voidaan poistaa vain pieni osa säiliöön tulevasta ilmamäärästä. Viirakaivoon muodostuu helposti likaa ja limaa, jos siellä olevaa vaahtoa ei hillitä tai annostella sinne biosideja torjumaan bakteereita. (Knowpap)

Kun paperikoneen tuotantoa lisätään, usein viirakaivo jätetään ennalleen ja sen suorituskyky laskee. Tällöin viirakaivon suurentaminen ja/tai ilmanpoisto- ja vaahdonestokemikaalit voivat parantaa ilmanpoistokykyä. Kemikaalin tulisi ehtiä vaikuttamaan ennen viirakaivoa, joten kemikaalit tulisi lisätä viiravesikanavissa (viiräränni) massan sekaan. (Savcor 2003, 7)

Tiettyyn rajaan asti viirakaivon ilmanpoistotehokkuutta voidaan kehittää ilmanpoistotai vaahdonestokemikaaleilla. Ilmanpoiston tehokkuus riippuu kuidun, viiraveden, hienoaineen ja täyteaineen kyvystä pitää ilmaa. Eri massat sitovat ilmaa eri tavoin, esimerkiksi puhtaasta sellusta valmistettu massa sitoo ilmaa paljon vähemmän kuin massa, jossa on päällystettä, kierrätyskuitua, täyteainetta ja hioketta. (Savcor 2003, 7)

### **2.5.2 Pumput**

Lähestymisjärjestelmän sekoituspumpussa voi liueta kuplamaisesta ilmasta yli puolet paineen nousun, leikkausvoimien ja kuplien dispergoitumisen seurauksena. Kaasujen liukenemisen myötä kuplamaista ilmaa on vähemmän ja liuennutta ilmaa enemmän kuin ennen pumppua. Ilmaa ja kaasuja ei kuitenkaan pääse pois massasta, joten niiden kokonaismäärä pysyy samana. Vaahdonestoaineilla voidaan vaikuttaa siihen, kuinka herkästi kuplamainen ilma muuttuu liuenneeksi. (Knowpap)

Paperikoneille on myös kehitetty pumppuja, joilla voi poistaa ilmaa. Yhdenlaisissa pumpuissa poistetaan kuplamainen ilma roottorin lapojen takaa. Toinen vaihtoehto on pumppu, joka muuttaa virtauksen pyörivään liikkeeseen ja samoin kuin ilmanpoistimes-  
sa, keskeisvoima ajaa ilman kohti pyörteen keskustaa, jossa se voidaan erottaa massasta. (Knowpap)

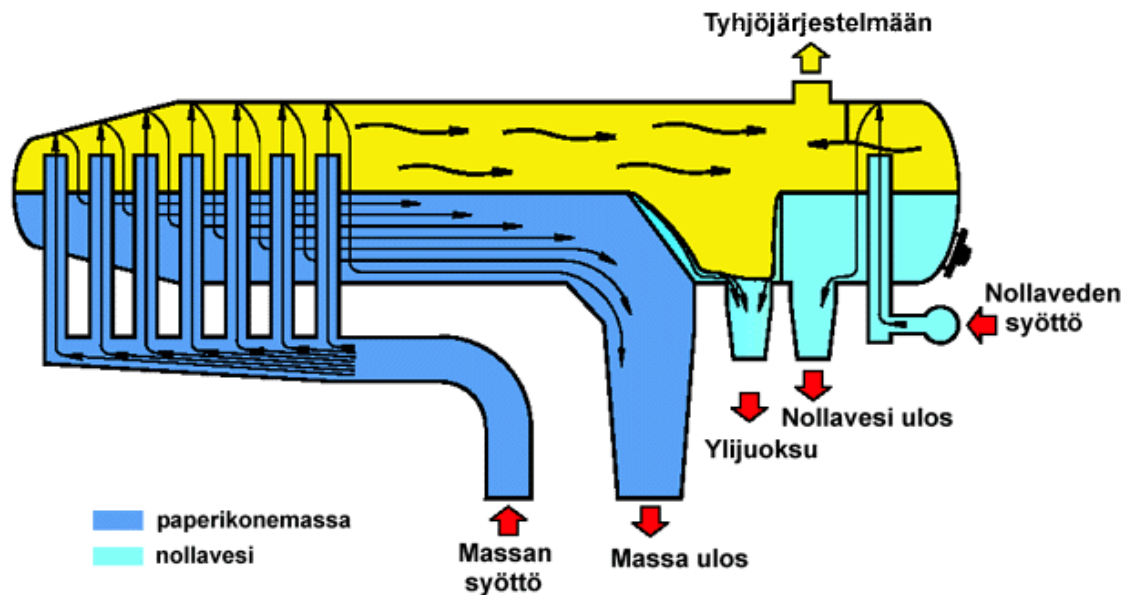
### 2.5.3 Ilmanpoistosäiliö

Ilmapoisto lyhyessä kierrossa toteutetaan usein ilmanpoistosäiliössä, jossa on kiehumis-  
lämpötilaa vastaava alipaine. Ilmanpoistosäiliöön voidaan myös integroida pyörrepuh-  
distuslaitos. Ilmanpoistosäiliö sijoitetaan pyörrepuhdistuslaitoksen ja painesihtien vä-  
liin. Se poistaa konemassasta lähes kaiken ilman, joka on sitoutuneena, liuenneena sekä  
ylikylläisenä liuenneena kaasuna. Ilmanpoistosäiliössä on ylijouksu, jonka avulla saa-  
daan vakioitua pinnankorkeus ja taattua massan tasainen syöttö syöttöpumpun ja pai-  
nesihtien kautta perälaatikolle. Ylijouksu on normaalisti 3 - 5 % syöttövirtauksesta ja se  
palautetaan viirakaivoon. Säiliön ilmanpoisto perustuu tehokkaaseen pisarointiin, hyd-  
rauliseen iskuun sekä kiehumiseen alipaineessa. Ilmanpoiston lisäksi ilmanpoistin tasaa  
ja poistaa paine- ja sakeushäiriöitä. (Häggbloom-Ahnger & Komulainen 2005, 127;  
Knowpap)

Koska pumppaaminen on vaikeaa suuresta alipaineesta, ilmanpoistosäiliö tulee sijoittaa  
noin kymmenen metriä viirakaivon pintaa korkeammalle. Tämä rajoittaa lyhyen kierron  
suunnittelua ja kompakteissa ratkaisuisa pyritään poistamaan ilma massasta ja kierto-  
vesistä jollain muulla menetelmällä. (Knowpap)

Massa suihkutetaan ilmanpoistosäiliön kattoon onton kartion muotoisena useiden suut-  
timien läpi. Tällöin saadaan nopeasti alipaineeseen mahdollisimman suuri pinta-ala  
massasta. Sitoutunut ilma poistuu, kun massa törmää voimakkaasti kovaa pintaa vastaan  
ja kuplat hajoavat. Suuri osa kuplista, jotka ovat kiinnittyneenä kuituihin ja hieno-  
ainepartikkeleihin tai niiden sisällä, irtoavat iskun voimasta ja poistuvat massasta. Ali-  
paine säiliössä laskee kiehumispistettä ja kiehumisen ansiosta ilmakuplat hajoavat ja  
nestepisaroista erottuu kaasuja. Ilmanpoistosäiliö toimii 10 – 15 kPa:n paineessa ja se

tarvitsee vakuumijärjestelmän. Ilmanpoistosäiliön toimintaperiaate näkyy kuvassa 3. (Knowpap)



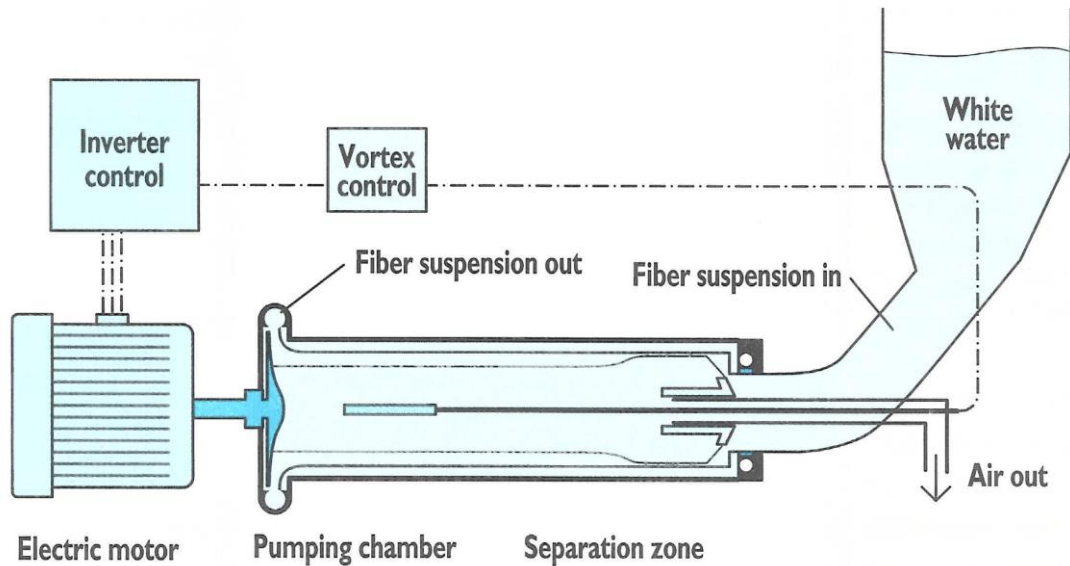
KUVA 3. Ilmanpoistosäiliön toimintaperiaate (Knowpap)

#### 2.5.4 Pomp ilmanpoistin

Pomp-keskipakopumpun tarkoituksena on poistaa kiertovedessä oleva kuplamainen ilma. Pomp on suunniteltu korvaamaan ilmanpoistin ja viirakaivo kokonaan. Tehdaskokeissa on todettu, että todennäköisesti viirakaivon korvaaminen pumpuilla kokonaan on mahdollista. Tällöin saadaan kiertoveden määrää vähennettyä verrattuna normaaliin viirakaivon ja ilmanpoistimen yhdistelmään ja lyhyestä kierrosta saadaan dynaaminen ja nopea. Ilmanpoistin voidaan myös lisätä jälkikäteen lyhyeen kiertoon, jos koko lyhyen kierron uusiminen ei ole tarpeen. (Helle ym, 1998, 379)

Pomp ilmanpoistimen toimintaperiaate selviää kuvasta 4. Ilmanpoistimeen syötetään vesi venttiilin kautta, jolloin saadaan säädettyä tulopintaa. Vesi pyörii rummulla ilmanpoistimen sisällä ja massaa kevyempänä ilma poistuu sisäänpäin. Ilma kerätään aksiaali-

sesti uloshengityspotkeen ja sen kautta pois. Kierrosnopeutta säätämällä saadaan pidettyä vesikerroksen paksuus vakiona ilmanpoistimen sisällä. Ilmanpoistimen sisällä on kapasitiivinen anturi, joka mittaa vesirenkaan paksuutta. Paineistettu pää muodostaa keskipakopumpun, jonka avulla pumpataan ilmaton vesi viiraveden jakotukkiin. (Knowpap)



KUVA 4. POM ilmanpoistimen toimintaperiaate (Helle ym, 1999, 146)

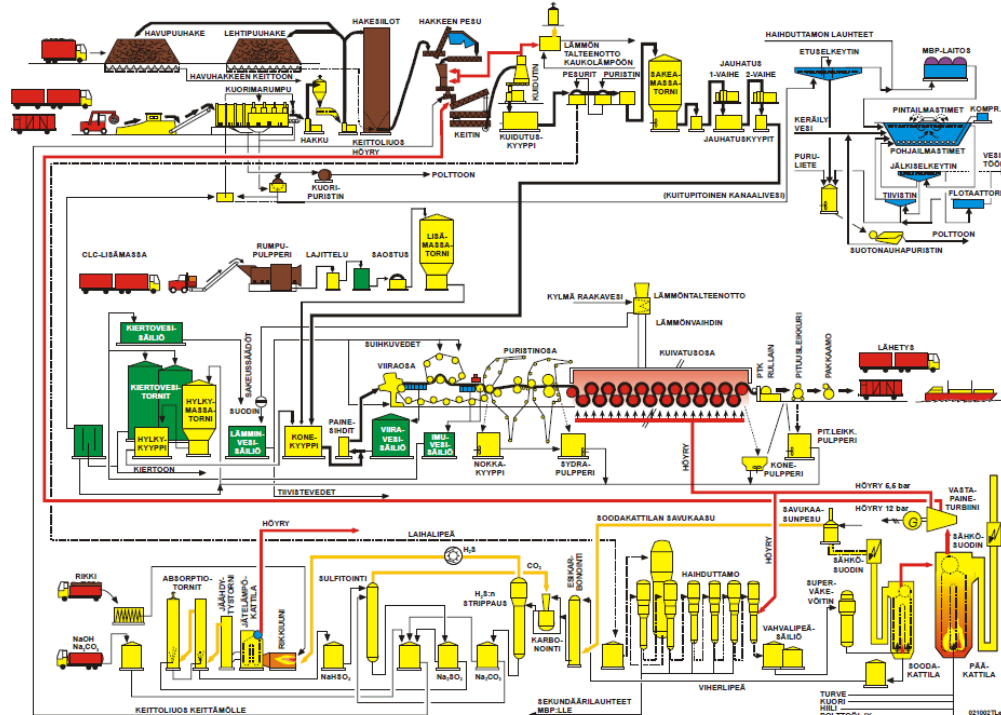
Jos ilmanpoistin kytketään alipaineeseen, voidaan poistaa myös osa liuenneesta ilmasta ja täten ilmanpoisto tehostuu. Ilmanpoistimiin voi myös johtaa prosessin muita ilmapi-toisia vesiä, joita halutaan kierrättää edelleen prosessissa. Esimerkkejä tällaisista vesistä ovat vedet yläviirayksikön ensimmäisistä kammioista ja tärysihdin aksepti. (Knowpap)

Tehdaskokeissa LWC -paperia tuottavalla paperikoneella todettiin, että pomp poisti lähes kaiken kuplamaisen ilman viiravedestä. Liuenneen ilman poistossa pomp sen si-jaan ei onnistunut. Lyhyen kierron painevaihteluista johtuen liuennut ilma ei kuitenkaan voi muuttua kuplamaiseksi ennen perälaatikkoa, eikä liuenneesta ilmasta ole haittoja samalla lailla kun kuplamaisesta ilmasta. (Helle ym, 1999, 146)

### 3 PROSESSIKUVAUS

Stora Enson Heinolan flutingtehtaalla valmistetaan flutingia eli aaltopahvin keskikerrosta. Tehtaalla valmistetaan puolikemiallista NSSC-massaa omalla massatehtaalla, joka on integroitu kartonkitehtaaseen. Kartonkitehtaalla on yksi kartonkikone, leikkuri ja uudenaikainen pakkaamo. Näiden lisäksi tehtaalla on lipeälaitos, jätevedenkäsittelylaitos ja voimalaitos, jotka eivät ole olennaisia tämän työn kannalta, joten niitä ei käsitellä työssä. Tehtaan tuotantokapasiteetti on 300 000 tonnia puolikemiallista flutingia vuodessa. Flutingtehtaan tuotantokaavio on esitetty kuvassa 5 ja prosessin työn kannalta olennaiset osat on selitetty tarkemmin tässä luvussa.

**TUOTANTOKAAVIO**



KUVA 5. Heinolan flutingtehtaan tuotantokaavio (Heinolan flutingtehdas)

#### 3.1 Massatehdas

Heinolan flutingtehtaalla valmistetaan neitseellistä lyhytkuituista puolikemiallista NSSC-massaa (Neutral Sulfite Semi Chemical). Massa valmistetaan kartonkitehtaaseen integroidulla massatehtaalla. Massa valmistetaan neitseellisestä puukuidusta, mutta lisäksi käytetään aaltopahvitehtaan puhdasta leikkuujätettä (Clean Carton Clippings), josta tuotetaan massaa erillisellä CLC-linjalla. Prosessin saanto on 80 %, koska prosessi

on puolikemiallinen eli keitossa jätetään tarkoituksella osa hemiselluloosasta ja ligniinistä jäljelle massaan. Hemiselluloosan tarkoituksena on parantaa kartongin jäykkyyttä ja koska hemiselluloosaa pyritään säästämään keiton lyhyydellä, samalla massaan jää ligniiniä.

Flutingin valmistuksessa käytetään eniten koivua, välillä lisänä haapaa ja leppää. Kaikki tehtaalle tuleva puuaines on suomalaista. Haketta tuodaan lähinnä vanerilaitoksilta ja muuten puuaines tulee puurankoina rekkojen ja junien kyydissä. Haketta voi tulla myös sahoilta tai huonekalutehtailta.

Puut pätkitään kolmen metrin mittaisiksi ja niille tehdään märkäkuorinta, johon käytettävä vesi on päätehtaalta saapuvaa kuitupitoista nestettä. Puiden kuori kuljetetaan polttoainekentälle ja käytetään voimalaitoksen polttoaineena.

Kuoritut puunrangat viedään haketukseen, jossa syntyy noin 15 mm pitkää hakelastua. Hake puhalletaan siiloihin ja yhdessä valmishakkeen kanssa ne kuljetetaan magneettierotuksella valmistettuun seulontaan. Seulonnan jälkeen hake pestään, jotta saadaan kivet ja muut epäpuhtaudet hakkeesta pois. Ennen keittoa hake lämmitetään puskuhöyryn avulla.

Hake keitetään neljässä jatkuvatoimisessa keittimessä, joissa keitetään massaa yhteensä noin 1000 tonnia vuorokaudessa. Keiton aikana lämpötila ja paine ovat korkeita eli 185–188°C ja 10 – 11 bar. Keitossa käytetään natriummenetelmää, eli vaikuttavana kemikaalina käytetään natriumsulfiittia ja lisänä natriumkarbonaattia ja/tai -hydroksidia. Massa viipyy keittimessä noin 20 minuuttia.

Jokaisella keittimellä on oma puskusäiliö ja kuidutin. Keitetty massa johdetaan puskusäiliöön, jossa poistetaan höyry. Säiliöstä massa johdetaan kuiduttimelle ja pesureille. Pesu tehdään vastavirtapesuna rumpujen avulla käyttäen kartonkitehtaan kiertovettä. Pesun tarkoituksena on saada keittoliuoksen kemikaalit talteen. Keittoliuosta kutsutaan tässä vaiheessa laihaksi lipeäksi, ja se johdetaan recovery-osastolle. Siellä siitä valmistetaan uutta keittoliuosta.

Pesty massa johdetaan sakeamassatorniin. Tornista massa syötetään jauhamoon, jossa se jauhetaan kahdessa vaiheessa, joissa molemmissa on kolme jauhinta. Näitä käytetään



tarpeen mukaan. Ensimmäisessä vaiheessa jauhatus tapahtuu levyjauhaimella ja toisessa kartiojauhaimella. Sakeamassatornista massa johdetaan pienen pumppaussäiliön kautta ensimmäiselle jauhimelle ja sieltä tasaustorniin. Sieltä massa johdetaan toiseen jauhatukseen, josta se kuljetetaan konesäiliöön. Konesäiliöstä sakea massa johdetaan viiravesikaivoon ja peräsyöttöpumpulle, joissa massa laimennetaan perälaatikkoa varten.

Kesäkuussa 2015 otettiin käyttöön uudet tornit sakealle massalle ja kiertovedelle. Niiden molempien tilavuudet ovat 4000 m<sup>3</sup> ja massatornin syöttö on varustettu säiliöpesurilla ja massajakajalla. Massajakajan tarkoituksena on varmistaa, että massa jakautuu tasaisesti eikä torniin jää kuolleita kohtia. Täten massajakajan avulla voidaan vähentää merkittävästi rikkivedyn muodostumista. Tornien avulla saadaan lisättyä massa- ja vesitilaa, jolloin tuotantoa voidaan lisätä ja tuotanto on tasaisempaa, kun massatehdas ja kartonkitehdas saadaan vähemmän riippuvaisiksi toisistaan. Vesitilavuudesta on se hyöty, ettei ole enää tarvetta ajaa suuria määriä kiertovesiä samalla kertaa puhdistamolle.

Uusien massatornien asennuksen jälkeen ilmapitoisuutta ja sen vaikutusta halutaan tutkia uudemman kerran. Uusissa torneissa on myös massajakajat, joiden avulla mahdollisesti pääsee ilmaa sekoittumaan. Keitossa käytettävän natriumkarbonaatin hajoaminen saattaa aiheuttaa hiilidioksidin muodostusta. Paineistamattomissa säiliöissä ilma pääsee sekoittumaan massan joukkoon ja säiliöiden täyttäminen vain osittain altistaa ilmaongelmille.

Hylkypulppereita on neljä, ensimmäinen on viiraosan ja puristinosan välissä. Sydrapulpperi on puristinosan lopussa ennen kuivatusosaa. Rullaimen kohdalla on kolmas pulpperi ja pituusleikkurilla on omansa. Pulppereista massa menee hylkytorniin, josta se menee jauhimen kautta takaisin konesäiliöön.

CLC-linjalla aaltopahvin puhdas leikkausjäte pulpperoidaan, puhdistetaan ja tarvittaessa jauhetaan. Hylkymassa tulee jauhimen kautta konesäiliöön, välissä on hylkykyyppi tassausta varten. CLC-massa johdetaan myös hylkykyyppiin ja hylkyjauhimen kautta konesäiliöön.

### 3.2 Lyhyt ja pitkä kierto

Viiralta poistettu vesi menee viiravesisäiliöön, jonka pohjalla siihen lisätään myös sakea massa. Viiravesisäiliön jälkeen massa kuljetetaan peräsyöttöpumpulle, joka laimentaa massan sopivaksi perälaatikkoa varten. Sopivan laimea massa menee vielä konesihtien läpi ennen perälaatikolle päätymistä. Perälaatikon laimennusvesi otetaan viirakaivon puolestavälistä ja pumpataan dilusihdin kautta perälaatikolle. Viirakaivoon tulee vettä myös perälaatikolta ylijuuksusäiliön kautta ja ohikiertovetenä.

Imulaatikoiden kautta viiralta poistettu vesi viedään imuvesisäiliöön ja sieltä otetaan osa vedestä pesuihin. Muu vesi johdetaan nollavesisäiliöihin ( $1000 \text{ m}^3$  ja  $4000 \text{ m}^3$ ) ja niistä vesi johdetaan laimennusvedeksi pulppereille, CLC-linjalle ja hylkylinjalle.

Retentioaine lisätään viiravesisäiliön ja peräsyöttöpumpun väliin. Vaahdonestoaine lisätään kiertoveden joukkoon viiraränniin, jolloin se ehtii sekoittua ennen viiravesisäiliötä. Toistaiseksi vaahdonestoaine pumpataan väliaikaisella putkituksella.

### 3.3 Kartonkikone

Kartonkikoneen mitoitusleveys on 6500 mm ja suurin mahdollinen trimmileveys on 6000 - 6100 mm. Koneen maksiminopeus on 850 metriä minuutissa ja kone on 120 metriä pitkä. Tuotettuja grammapainoja on seitsemän, välillä  $110\text{--}200 \text{ g/m}^2$  ja ne ovat 110, 127, 140, 150, 160, 175 ja  $200 \text{ g/m}^2$ .

Perälaatikkona on laimennussäädöllä varustettu hydraulinen perälaatikko. Viiraosa on tasoviira, johon on lisätty yläpuolinen vedenpoistoyksikkö eli hybridiformeri. Perälaatikosta massa tulee alaviiran päälle ja yläviira tulee mukaan hieman myöhemmin. Viiraosalla on seitsemän imulaatikkoa.

Höyrylaatikko sijaitsee viira- ja puristinosan välissä. Pick up –tela kuljettaa rainan viiraosalta puristinosalle. Puristinosalla on kolme nippiä, raina kulkee aina yhden huovan mukana, nipeissä raina puristetaan kahden huovan välissä.

Puristinosan jälkeen tulee kuivatusosa, jossa on 75 kuivaussyylinteriä rainaa varten ja useita sylintereitä huovan kuivaukseen. Kuivatusosalla rainaa kuljetetaan kuivatusviirujen avulla. Kuivatusosan alussa sylintereiden paine on monta kertaa pienempi kuin lopussa, esimerkiksi 50 kPa ja 300 kPa.

Rullaimena tehtaalla on Pope-rullain, joka on uudistettu syksyllä 2015. Koeajot toteutetaan melko pian uudistuksen jälkeen. Pituusleikkurina Heinolan flutingtehtaalla on kantolaleikkuri.

## 4 KOEAJOT

### 4.1 Taustaa

Ilmapitoisuus on lisääntynyt ja sen takia ilman vaikutusta prosessiin halutaan tutkia. Toistuvat katkot kartonkikoneella aiheuttavat ongelmia tuotannossa, joten niiden syitä haetaan ilmapitoisuudesta ja testataan ilmanpoiston vaikutuksia pesureilla ja viirakaivossa. Katkojen syynä on usein ilmoitettu olevan näkyvä lika viira- tai puristinosalla.

Ilmapitoisuutta mitataan tällä hetkellä Savcor -ilmanpitoisuusmittarilla. Mittaus antaa jatkuvaa dataa, kerran tunnissa kompressiomittauksen ja kerran neljässä tunnissa ekspansiomittauksen. Ilman poistamiseen käytetään vaahdonestokemikaalina vesipohjaista rasva-alkoholi dispersiota tuotenimeltään Fennotech.

Ilmapitoisuuden muutoksista huolimatta ei ole huomattu muutoksia kartongin lujuuksissa. Suurin ilman aiheuttama ongelma tehtaalla on likaantuminen, joka johtaa katkoihin.

Koeajot tehdään Kemira Oyj:n Fennotech -vaahdonestoaineella. Vaahdonestoaineen tulee olla vesiliukoinen ja elintarvikekelpoinen. Koeajojen aikana pyritään pitämään prosessi mahdollisimman samanlaisena ja vaahdonestoaineen annostelu pysäytetään seisokkien ajaksi. Vaahdonestoaine pumpataan viiraränniin, jolloin se ehtii sekoittumaan veteen ennen viirakaivoa. Ainetta on ajettu aiemmin vaihtelevia määriä, mutta vaikutuksia ei ole kunnolla seurattu tähän mennessä. Välillä on ajettu pieniä annoksia ja enimmillään annos on ollut 20 litraa tunnissa, yleensä taso on asettunut välille 5-10 litraa tunnissa. Välillä vaahdonestoaine on ollut pois ajosta.

Koeajojen aikana seurataan ilmanpitoisuutta Savcor- ilmanpitoisuusmittarilla. Lisäksi seurataan muutoksia viirakaivon pinnankorkeudessa, höyrynkulutuksessa ja sekoituspumpun pyörimisnopeudessa. Näiden lisäksi tutkitaan lian aiheuttamien katkojen määrää, jonka on huomattu vaihtelevan ilmapitoisuuden muutoksien mukana. Myös formaatio, eli kartongin pienimittakaavainen neliömassavaihtelu on tutkittava asia, koska teorian mukaan formaatio voi huonontua ilmapitoisuuden johdosta ja formaation huononeminen johtaa kartongin lujuuksien huononemiseen.

Ensimmäisessä koeajossa annos nostetaan kerralla annoksesta 10 l/h (keskimäärin 250 g/t) annokseen 15 l/h (keskimäärin 375 g/t). Toisessa koeajossa tehdään vastekoe, jossa annostelua nostetaan kahden tunnin välein yksi litraa kerrallaan. Aloitusannos on viisi litraa tunnissa (keskimäärin 125 g/t) ja suurin annos on 15 litraa tunnissa (keskimäärin 375 g/t). Ajot toteutetaan kahden päivän aikana.

#### **4.1 Ilmapitoisuuden vaikutusten tutkiminen**

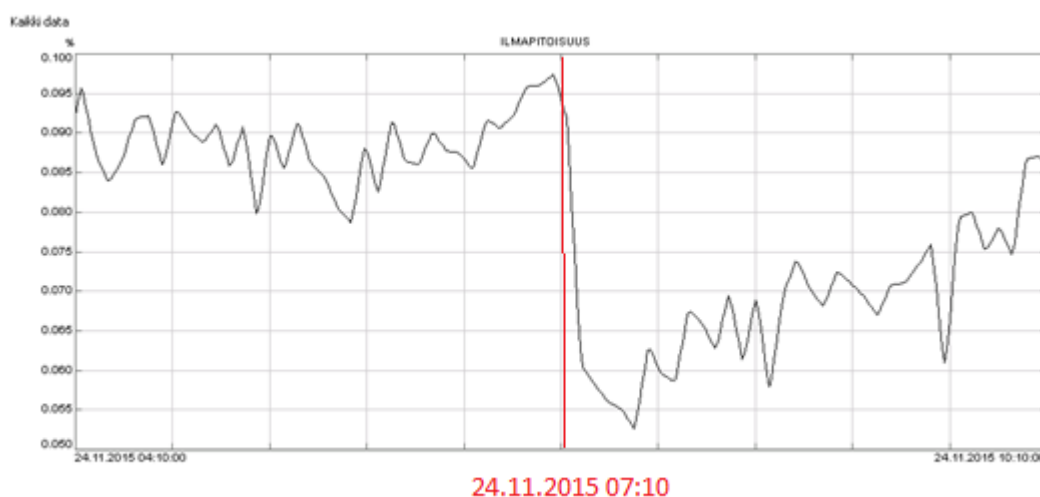
Ilmapitoisuuden vaikutuksia tehtaalla on seurattu pitkin syksyä käyttäen apuna ilmapiitoisuusmittauksen tuloksia ja vertaamalla ilmapitoisuuden heittoja muihin prosessin muuttujiin Savcorin Wedge –ohjelman avulla. Lisäksi tarkkailun alle on otettu ilmapiitoisuuden nousun vaikutukset katkojen syntyyn. Myös katkoja on tutkittu Savcor Wedge –ohjelman avulla siten, että on tutkittu tietyn tarkkailujakson aikana tapahtuneita katkoja ja ilmapitoisuuden muutoksia.

## 5 TULOKSET

### 5.1 Askelvastekoe 1

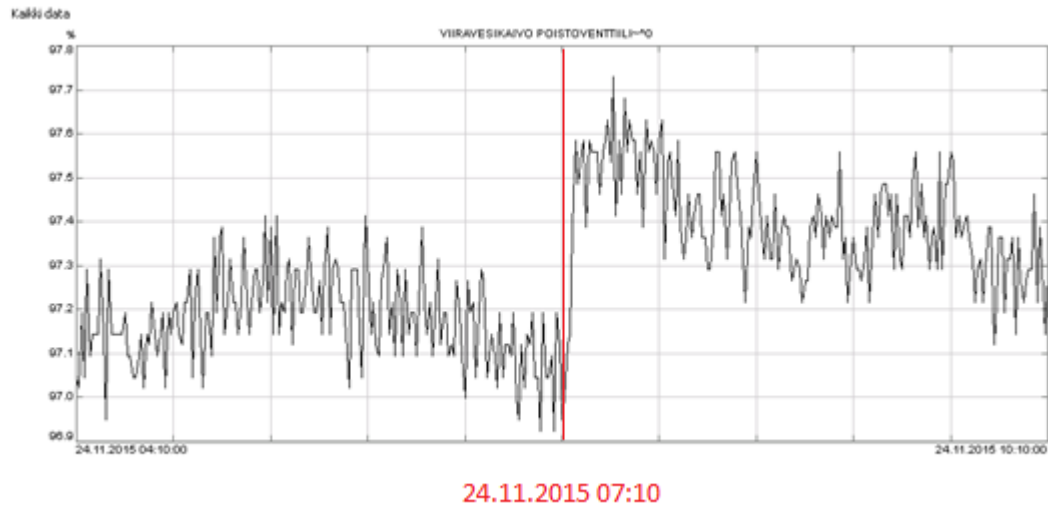
Ensimmäisessä koeajossa nostettiin vaahdonestoaineen annostelua annoksesta 10 l/h annokseen 15 l/h. Tässä koeajossa saadaan selvä vaste ilmapitoisuudessa ja sen myötä useassa muussa muuttujassa. Selvimmät muutokset näkyvät siinä, että viiravesikaivon pinta nousee ja toisaalta viiraosan imut paranevat saman tien vaahdonestoaineen noston jälkeen. Laatuominaisuuksissa muutos saadaan parhaiten näkyviin formaatiossa, jonka arvot ovat paremmat suuremmalla annoksella. Kokonaishöyrynpaine ja ensimmäisen höyryryhmän paineessa ei ole huomattavaa muutosta. Sekoituspumpun pyörimisnopeus ei myöskään muutu vaahdonestoaineen noston seurauksena.

Kuvasta 6 nähdään, että vaahdonestoaineen annoksen noustua viidellä litralla tunnissa, ilmapitoisuus laskee välittömästi. Kuvaan on merkitty vaahdonestoaineen annostelun lisäyshetki punaisella viivalla.



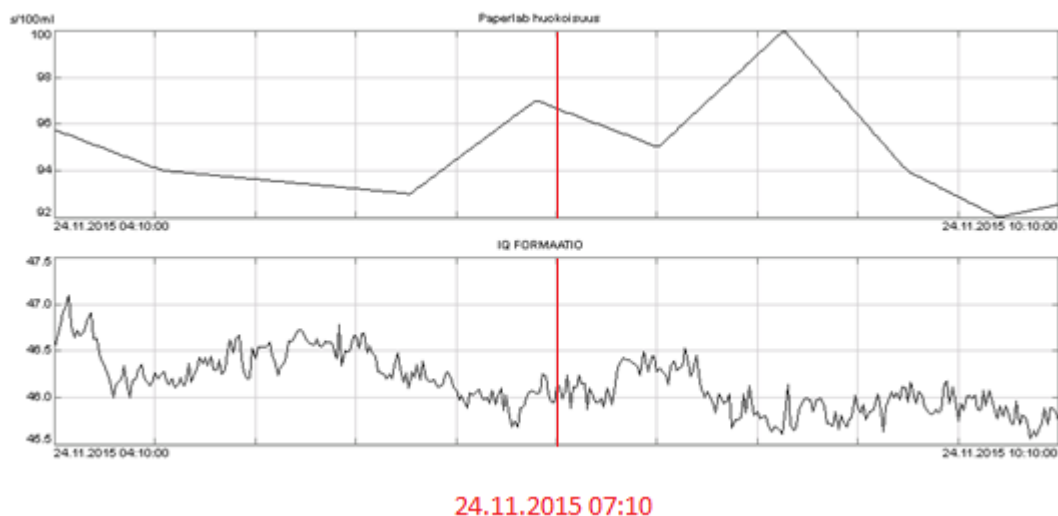
KUVA 6. Ilmapitoisuuden muutos vaahdonestoaineen lisäyksen (punainen viiva) jälkeen

Kuvassa 7 puolestaan näkyy viiravesikaivon pinnan muutos suhteessa punaisella merkittyyn vaahdonestoaineen lisäysaikaan. Viiravesikaivon pinta nousee, kun vaahdonestoaine muodostaa vaahtoa ja vaahto nousee pintaan, josta se pääsee poistumaan.



KUVA 7. Viiravesikaivon pinnankorkeus vaahdonestoaineen annostelun lisäyksen (punainen viiva) jälkeen

Kartongin laatuominaisuuksina tutkittiin huokoisuutta ja formaatiota, joiden kuvaajat ovat kuvassa 9. Kartongin huokoisuudessa (ylempi kuva) ei nähdä merkittävää muutosta vaahdonestoaineen lisäyksen jälkeen, se laskee ensin alemmas ja lähtee sitten nousuun. Formaatiossa (alempi kuva) sen sijaan voidaan nähdä hiljalleen laskeva trendi. Formaation arvojen paraneminen on melko pientä, mutta pieni muutos on kuitenkin nähtävissä.

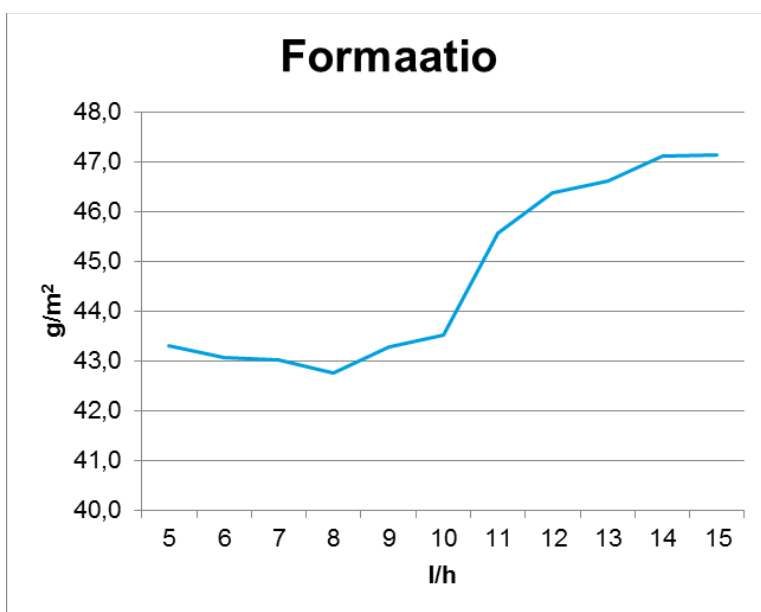


KUVA 9. Kartongin huokoisuus ja formaatio ensimmäisessä askelvastekokeessa, punainen viiva kertoo vaahdonestoaineen lisäysajan

## 5.2 Askelvastekoe 2

Toisessa askelvastekokeessa nostetaan annosta litralla kerrallaan kahden tunnin välein. Koepisteet ovat 5 – 15 l/h. Tässä koeajossa ei saada aikaan merkittävää muutosta ilmapitoisuudessa. Ilmapitoisuuden arvot heittelevät koko koeajon ajan, ollen keskimäärin 1,06 %. Koska ilmapitoisuudessa ei ole merkittäviä muutoksia, muiden ominaisuuksien muutokset johtuvat todennäköisesti muista asioista tai ilmapitoisuuden mittausta ei ole jostain syystä toiminut niin kuin pitäisi. Toisen koeajon tulokset löytyvät liitteestä 1, johon on koottu kunkin koepisteen kohdalta jokaisesta tutkittavasta kohteesta keskiarvot.

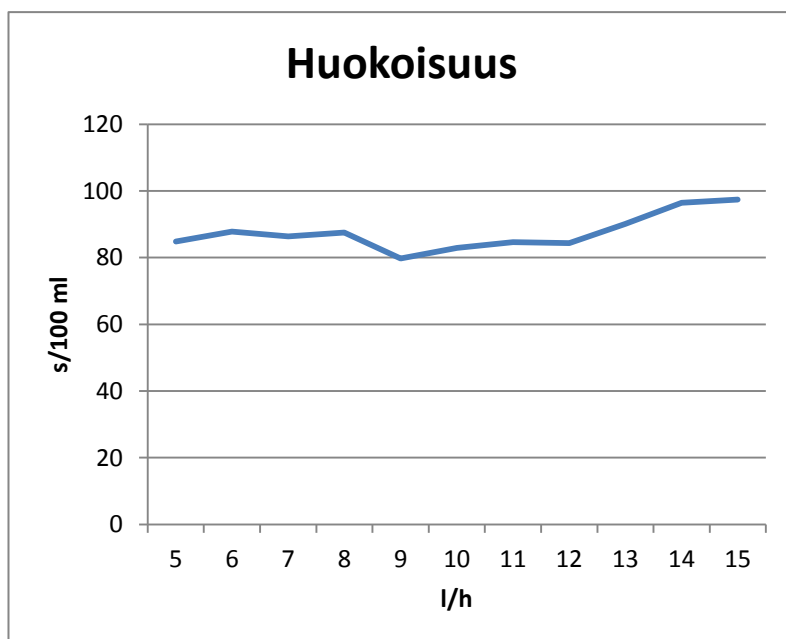
Formaatio kertoo kartongin pinnan tasalaatuisuudesta ja on sitä parempi, mitä pienemmän arvon se saa. Koeajossa saadut formaation arvot löytyvät kuvasta 10. Koeajon alussa formaatio laskee hieman, saaden parhaan arvonsa 8 litran koepisteessä. 10 litran koepisteen jälkeen formaatio nousee runsaasti, mikä selittyy osittain lajinvaihdolla. Lajinvaihdon jälkeen formaation arvot jatkavat kuitenkin nousuaan.



KUVA 10. Formaation arvot eri vaahdonestoaineen annosmäärillä



Huokoisuus muuttuu vaahdonestoaineen lisäyksen myötä. Huokoisuuden arvot toisessa koeajossa löytyvät kuvasta 11. Huokoisuus kasvaa koeajon ajan, paitsi kahdeksan litran tuntiannoksen kohdalla havaitaan pieni notkahdus alaspäin.



KUVA 11. Huokoisuuden arvot vaahdonestoaineen määrään verrattuna

### 5.3 Ilmapitoisuuden vaikutukset

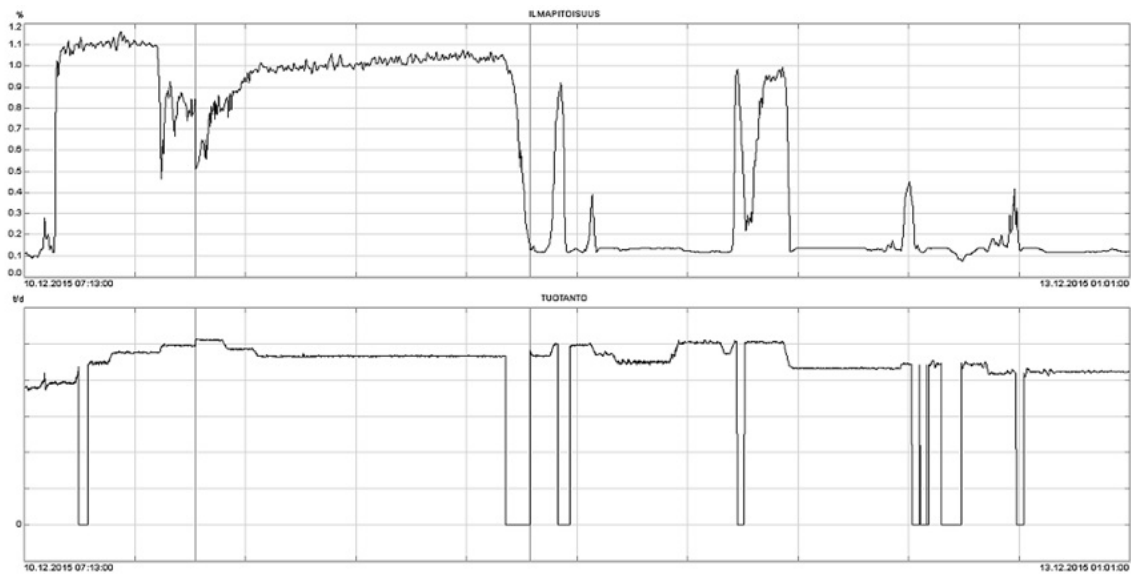
Ilmapitoisuudella on huomattu olevan korrelaatiota moniin jatkuvasti mitattaviin suureisiin. Tällaisia ovat erityisesti olleet syksyn tarkkailun aikana lämpötila, johtokyky, säiliöiden pinnankorkeudet ja kartonkikoneen ajonopeus.

Lämpötilan on huomattu vaikuttavan ilmapitoisuuteen siten, että korkeammissa lämpötiloissa vaahtoa on enemmän. Johtokyvyllä on myös ollut vaikutusta ilmapitoisuuteen, eli johtokyvyn noustua myös ilmapitoisuus nousee. Johtokyvyn nousu kertoo likaantumisen ja vesien likaannuttua myös ilmapitoisuus pääsee nousemaan.

Kun säiliöiden pinnat laskevat, ilmapitoisuus nousee. Tämä on seurausta siitä, että viipymät säiliöissä ovat pienempiä eikä ilma ehdi poistua spontaanisti. Kartonkikoneen nopeutta nostetaan, kun ajetaan matalampia grammapainoja. Tällöin ilmapitoisuus nousee viipymien lyhenemisen seurauksena.

## 5.4 Katkot

Heilahdukset ilmapitoisuuden arvoissa ovat selvästi yhteydessä katkojen syntymiseen. Kuvan 12 yläkuva näyttää ilmapitoisuuden arvot ja alempi kuva esittää tuotantoa. Kuvasta nähdään, kuinka tarkkailuaikana suurin osa katkoista saa alkunsa ilmapitoisuuden kasvusta tai laskusta. Kuvasta on poistettu ne katkot, jotka ovat saaneet alkunsa muualta kuin viira- tai puristinosalta tai joiden syy on mekaaninen vika.



KUVA 12. Ilmapitoisuuden ja katkojen korrelaatio

## 6 POHDINTA

Työssä saatiin selvitettyä ilmapitoisuuden syitä ja vaikutuksia. Ilmapitoisuus on kuitenkin niin moninainen asia, että tämä tutkimus ei yksistään riitä ilmapitoisuuden vaikutuksia selvittämään. Koeajoja tehtiin useita, tässä työssä on esitetty ne, joista saatiin tuloksia.

Ensimmäisessä koeajossa saatiin selvä vaste vaahdonestoaineen ja ilmapitoisuuden välille, kun annos nostettiin kerralla annoksesta 10 l/h annokseen 15 l/h. Lisäksi ilmapitoisuuden laskiessa viiraosan vedenpoisto parani ja viiravesikaivon pinta nousi. Formaation oli myös huomattavissa parannusta. Viiravesikaivon pinnannousu kertoo siitä, että vaahdonestoaineen annostelu sai ilman nostettua pintaan vaahdoksi ja täten ilma pystyi poistumaan. Viiraosan vedenpoiston paraneminen ja formaation kehitys ovat myös todisteita siitä, että vaahdonestoaaine toimi odotetulla tavalla.

Toisessa koeajossa, jossa annosta nostettiin litra kerrallaan kahden tunnin välein annoksesta 5 l/h annokseen 15 l/h, vastetta ilmapitoisuuden ja vaahdoneston välillä ei jostakin syystä saatu aikaan. Mahdollisia epäkohtia koeajossa saattoivat olla liian korkea lämpötila kyseiselle vaahdonestoaineelle tai ilmapitoisuusmittauksen epätarkkuus. Koeajossa annosta myös nostettiin vain litralla kerrallaan, joten yhtä suurta vastetta ei ollut kerralla odotettavissa kuin ensimmäisessä koeajossa. Silti koeajo kesti niin pitkään ja annosta nostettiin kaikkiaan 10 l/h, että jos vaahdonesto toimii kunnolla, pitäisi vaste olla nähtävissä.

Ilmapitoisuuteen vaikuttavia asioita saatiin selvitettyä Wedgen avulla. Ohjelman antamien tulosten perusteella johtokyky, lämpötila, säiliöiden pinnankorkeudet ja veden määrä ovat asioita, joihin kannattaa kiinnittää huomiota, jos halutaan pitää ilmaongelmat kurissa. Myös kartonkikoneen nopeuden kasvattaminen voi johtaa ilmaongelmiin. Katkojen yleisimpiin syihin kuuluu lika, joten prosessi olisi hyvä saada pidettyä mahdollisimman puhtaana. Myös lämpötilan pitäminen tasaisena auttaa estämään heilahtelua ja ilmapitoisuudessa.

Tämä opinnäytetyö toi oppia siitä, että flutingin valmistusprosessi on hyvin erilainen kuin useimmat paperin- ja kartonginvalmistusprosessit. Prosessissa on myös paljon muuttujia, jotka vaikuttavat toisiinsa, joten on vaikea päätellä johtuvatko esimerkiksi

katkot juuri ilmapitoisuudesta vai jostain niistä asioista, jotka aiheuttavat nopeat muutokset ilmapitoisuudessa.

Nopeat ilmapitoisuuden muutokset johtavat katkoihin kartonkikoneella, joten vaahdon ja ilman estäminen ja poistaminen auttavat kartonkikoneen ajo-ongelmiin. Tämän työn pohjalta oikeaa vaahdonestoaineen annostelun määrää on hankala päätellä, mutta 5-10 litraa tunnissa vaikuttaisi riittävän poistamaan riittävästi ilmaa. 15 litraa tunnissa on määrä, joka poistaa paremmin ilmaa, mutta parannus ei liene riittävä kustannuksiin nähden.

Olisi hyvä testata myös toista vaahdonestoinetta ja tutkia sitä, onko nykyinen vaahdonesto riittävä prosessissa olevalle, melko korkealle lämpötilalle. Yleensä paras teho saadaan kuitenkin aikaan siten, että vaahdoneston avulla saadaan ilmapitoisuus niin pieneksi, että mekaaninen ilmanpoisto voi toimia tehokkaasti.

## LÄHTEET

Alén, R. 2007. Papermaking additives. Teoksessa Alén R. (toim.), Papermaking Chemistry. Jyväskylä: Paperi ja Puu Oy, 56 – 118.

Heinolan flutingtehdas, intranet. Tulostettu 30.12.2015. <https://heinola-fluting-mill.weshare.storaenso.com/english/salesmaterial/Documents/tuotantokaavio.pdf>

Helle, T. M., Meinander, P., Nykänen, R., Molander, K & Paulapuro, H. 1999. Air removal mill trials using pomp deaerator. Tappi Journal 82 (6), 146-149.

Helle, T. M., Meinander, P. & Paulapuro, H. 1998. Removal of entrained air from white water by application of centrifugal force. Paperi ja Puu 80 (5), 379-382

Hägglom-Ahnger, U., Komulainen, P. 2005. Paperin ja kartongin valmistus. Kemiallinen metsäteollisuus II. Jyväskylä: Gummerus Kirjapaino Oy.

KnowPap versio 16.0. 2014. AEL / Proledge Oy. Ilma lyhyessä kierrossa. Luettu 18.9.2015  
[http://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper\\_technology/2\\_stock\\_system/3\\_short\\_circulation/9\\_air\\_in\\_stock/frame.htm?zoom\\_highlightsub=ilmapitoisuus](http://www.knowpap.com/extranet/suomi/paper_technology/2_stock_system/3_short_circulation/9_air_in_stock/frame.htm?zoom_highlightsub=ilmapitoisuus). Saatavilla rajoitetusti.

SAVCOR. 2003. Paperikoneen saostumisongelmat. Luento. Finn-Fiber Oy 29-30.1.2003. Hotelli Vaakuna, Kouvola.

Skaffari, T. Vaahdonestokatsaus. Luento. Kemira Oyj 1.10.2015. Heinolan Fluting-tehdas.

Stoor, T. 2006. AIR IN PULP AND PAPERMAKING PROCESSES. Dr Thesis. Oulu University.

Thorn, I., Au, C. O. 2009. Foam and Entrained Air Management: A Practical Perspective. Teoksessa Thorn, I., Au, C. O. (toim.), Applications of Wet-End Paper Chemistry. Lontoo: Springer.

## LIITTEET

### Liite 1. Toisen koeajon tuloksia

Annos (l/h)	Ilmapitoisuus (%)	Kokonaishöyry (kg/s)	1. höyryryhmän paine (kPa)	Pumpun pyörimisnopeus (rpm)	Viiravesikaivon pinta (%)	Huokoisuus (s/100ml)	Formaatio
5	1,06	22,3	322	682	92,8	85	43,3
6	1,06	22,3	326	683	92,8	88	43,1
7	1,06	22,3	323	684	92,8	86	43,0
8	1,06	22,3	325	684	93,0	88	42,8
9	1,06	22,1	312	683	93,6	80	43,3
10	1,06	21,9	312	683	93,5	83	43,5
11	1,07	22,0	267	673	94,3	85	45,6
12	1,07	19,5	235	672	94,7	84	46,4
13	1,06	21,0	243	670	95,4	90	46,6
14	1,07	22,2	259	671	95,4	96	47,1
15	1,06	22,3	261	670	95,6	97	47,2